

GENEROWANIE SYNTETYCZNYCH OBRAZÓW CYFROWYCH Z PUNKTAMI SYGNALIZOWANYMI

SYNTHETIC DIGITAL IMAGES WITH ARTIFICIAL TARGETS GENERATING

Piotr Sawicki¹, Bartosz Ostrowski²

¹Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

²Instytut Elektroniki, Politechnika Łódzka

SŁOWA KLUCZOWE: obraz cyfrowy, sztuczny znak, szum, rozmycie, błędy systematyczne obrazu, dystorsja, dopasowanie obrazu

STRESZCZENIE: W celu tworzenia syntetycznych obrazów cyfrowych bliskiego zasięgu, do badania dokładności i niezawodności zaawansowanych operatorów dopasowania (*matching*), opracowany został autorski program o nazwie Image Generator. Program Image Generator może generować okrągłe, ciemne sygnały (*target*) na jasnym tle lub jasne sygnały na ciemnym tle. Wygenerowanie testowych obrazów cyfrowych w formacie BMP, ze sztucznymi punktami sygnalizowanymi, wymaga w programie zdefiniowania następujących parametrów: rozdzielczość obrazu, wielkość piksela, promień znaku (*target*), odległość między znakami, jasność znaku i jego tła, szum tła, rozmycie krawędzi znaku, poziom ostrości, parametry kalibracji kamery cyfrowej oraz wielkość obszaru zainteresowań (*interest area*). Parametry radiometryczne obrazu definiuje się za pomocą składowych R, G, B, i dodatkowo przez wprowadzenie szumu gaussowskiego, o dowolnej wielkości i sile zakłócenia, oraz dwóch rodzajów filtrów uśredniających (*boxfilter*). Zmianę jasności znaków otrzymuje się przez wprowadzenie gradientu. Zniekształcenia geometryczne obrazu modelowane są błędami systematycznymi wg modelu Brown'a i El-Hakim'a oraz Beyer'a, które zawierają dystorsję radialną symetryczną, dystorsję radialną asymetryczną i tangencjalną, afinizm oraz nieortogonalność osi (*shear*) macierzy sensora. Zdjęcia dowolnie zorientowane tworzone są za pomocą transformacji rzutowej 2D. Aplikacja umożliwia dodatkowo tworzenie obszarów poszukiwań dla programu Matching, generowanie fragmentu obrazu z sygnałem, tworzenie protokołów zawierających współrzędne pikselowe z poziomami jasności. Program Image Generator został napisany w języku programowania Delphi 7. Testowanie wygenerowanych w programie Image Generator obrazów cyfrowych z sygnalizowanymi punktami różnej wielkości przeprowadzono wykonując automatyczny pomiar współrzędnych w autorskim programie Matching (zastosowano metodę ważonego środka ciężkości CWM – *Center Weighted Method* i metodę dopasowania najmniejszych kwadratów LSM – *Least Squares Matching*) oraz komercyjnym programie Pictran DE (metoda LSM). Pomierzone współrzędne pikselowe środka znaków porównano z teoretycznymi współrzędnymi, które obliczono metodą Newtona. Średnia odchyłka kwadratowa RMS różnic współrzędnych pikselowych dla obrazów zniekształconych dystorsjami geometrycznymi i radiometrycznymi wyniosła $RMS\Delta x'y' \leq 0.3$ piksela.

1. WPROWADZENIE

W fotogrametrii cyfrowej aktualnym tematem badań jest zautomatyzowany tryb pomiaru punktów sygnalizowanych odwzorowanych w postaci prostych form struktural-

nych lub dyskretnych, o wyodrębnionych cechach geometryczno-radiometrycznych (Chen *et al.*, 1992; Luhmann, 1996; Luhmann, 2006; Schenk, 1999). Operatory dopasowania (*matching*) w dwuwymiarowej przestrzeni obrazu, stosowane do pomiaru współrzędnych pikselowych punktów na zdjęciach cyfrowych bliskiego zasięgu, z założenia wymagają dobrego przybliżenia lokalizacji mierzonych punktów. Obszar referencyjny stanowi fragment rzeczywistego obrazu cyfrowego, który zawiera sygnalizowany punkt lub w przypadku założonej wielkości znaku i struktury poziomów szarości, syntetycznie wygenerowany wzorec (*template, point pattern*).

Zaawansowane badanie podpikselowej dokładności i niezawodności operatorów dopasowania, stosowanych do pomiarów punktowych, wymaga obrazów cyfrowych o znanej rozdzielczości, charakterystyce radiometrycznej, wielkości dystorsji geometrycznej oraz poziomie zakłóceń radiometrycznych. W celu generowania syntetycznych obrazów cyfrowych ze strukturalnymi punktami pola testowego opracowany został autorski program o nazwie Image Generator.

2. FUNKCJONALNOŚĆ PROGRAMU IMAGE GENERATOR

Opracowana aplikacja Image Generator może wygenerować dwa rodzaje obrazów: ciemne okrągłe sygnały (*target*) na jasnym tle lub jasne sygnały na ciemnym tle. Wygenerowanie syntetycznego normalnego zdjęcia cyfrowego ze sztucznymi punktami sygnalizowanymi (*artificial targets*) poprzedza zdefiniowanie (Rys. 1) następujących podstawowych parametrów:

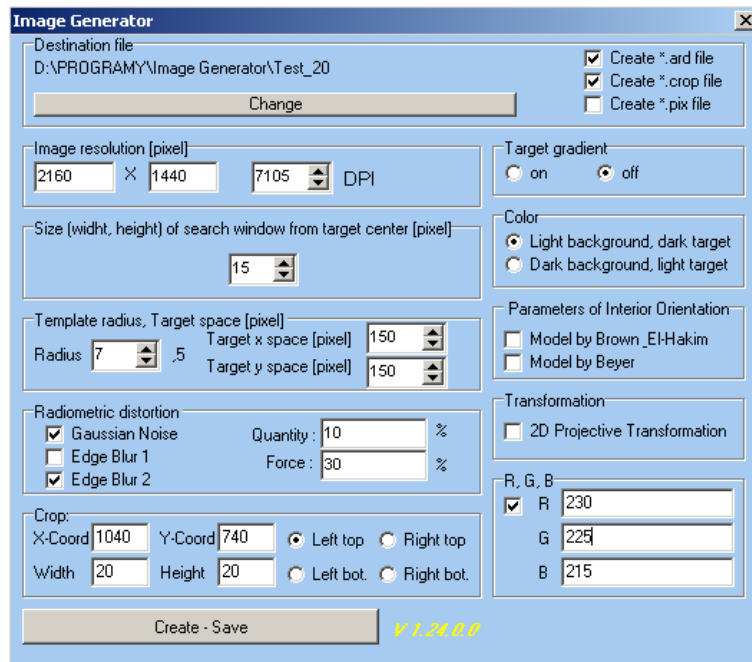
- rozdzielczość obrazu,
- wielkość piksela,
- promień znaku (*target*),
- gradient znaku,
- odległość między znakami,
- jasność znaku i jego tła,
- składowe barw RGB,
- zaszumienie gaussowskie,
- rozmycie obrazu krawędzi znaku,
- generowanie fragmentu obrazu o zdefiniowanej wielkości i położeniu.

Proces generowania sztucznego obrazu w aplikacji Image Generator uwzględnia, za pomocą funkcji ustawienia składowych R, G, B, jasność tła obrazu zależną od oświetlenia zewnętrznego. Funkcja ta pozwala na uzyskanie efektu zbliżonego do rzeczywistego oświetlenia, np. oświetlenia przy świetle naturalnym, jarzeniowym czy halogenowym.

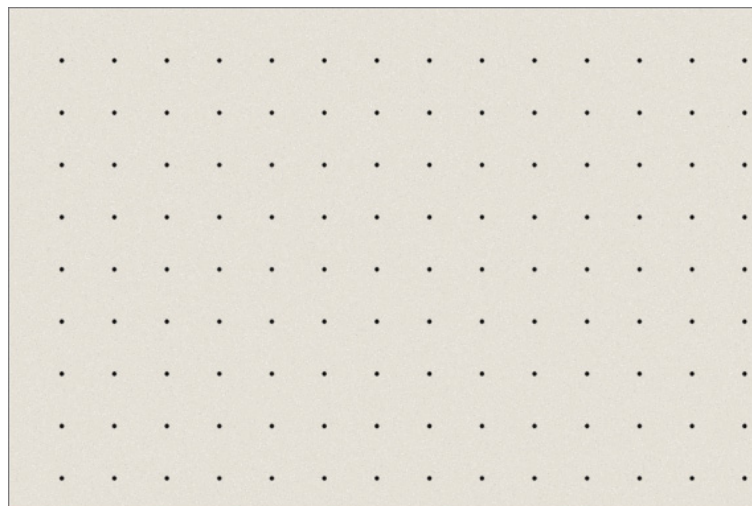
W procesie generowania bitmapy obrazu cyfrowego tworzony jest w pamięci komputera pierwotny obraz źródłowy (bez zniekształceń spowodowanych dystorsją), składający się z odpowiedniego tła oraz znaków pozycjonowanych w określonych miejscach. Następnie dla każdego piksela obrazu wynikowego (wtórnego) wyliczane są jego współrzędne w obrazie źródłowym na podstawie wzorów aproksymujących dystorsje geometryczne obrazu. Wartość poszczególnych składowych koloru piksela w obrazie wynikowym jest wyznaczana metodą interpolacji biliniowej (sąsiedztwo 4. najbliższych pikseli w obrazie pierwotnym).

Wygenerowany obraz cyfrowy (Rys. 2) oraz równolegle tworzony przez przetwarzanie wsadowe (*batch processing*) jego zdefiniowany fragment (*crop*) (Rys. 3), który wyznaczany jest do szczegółowej analizy radiometrycznej, zapisywane są w plikach

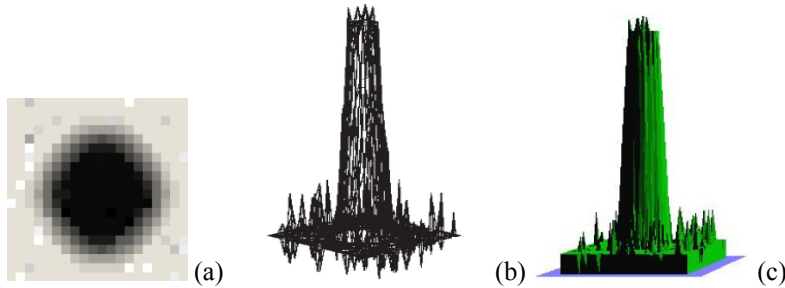
(* .BMP, *_crop.BMP) w standardowym formacie BMP, co umożliwi swobodną konwersję na inny dowolny, format plików graficznych.



Rys. 1. Panel główny interfejsu graficznego programu Image Generator



Rys. 2. Wygenerowany w aplikacji Image Generator syntetyczny obraz pola testowego bez wpływu dystorsji geometrycznej z punktami sygnalizowanymi (znaki o średnicy 15 pikseli)



Rys. 3. Wygenerowany sztuczny znak (a) (średnica 15 pikseli) i wizualizacja jego poziomów szarości I – postać wektorowa (*wire frame*) (b) oraz w OpenGL (c)

Utworzenie zbliżonych do rzeczywistości parametrów radiometrycznych obrazu umożliwia wprowadzenie szumów i rozmycie (nieostrość) krawędzi znaków. Możliwe jest rozmycie Gaussowskie oraz zastosowanie dwóch rodzajów filtrów uśredniających (*boxfilter*), które posiadają 9. i 25. elementową maskę (1) oraz mogą otrzymać dowolną wielkość i siłę zakłócenia. Zmianę wartości jasności (osłabienie lub wzmocnienie), w zależności od barwy i promienia sygnału, otrzymuje się przez wprowadzenie gradientu.

$$\frac{1}{9} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \frac{1}{25} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Wygenerowanie syntetycznego obrazu cyfrowego ze zniekształceniami geometrycznymi, spowodowanymi błędami systematycznymi obrazu i zniekształceniami perspektywicznymi, oraz parametrami umożliwiającymi jego szczegółową analizę możliwe jest poprzez wybór z panelu programu następujących dodatkowych opcji (Rys. 4):

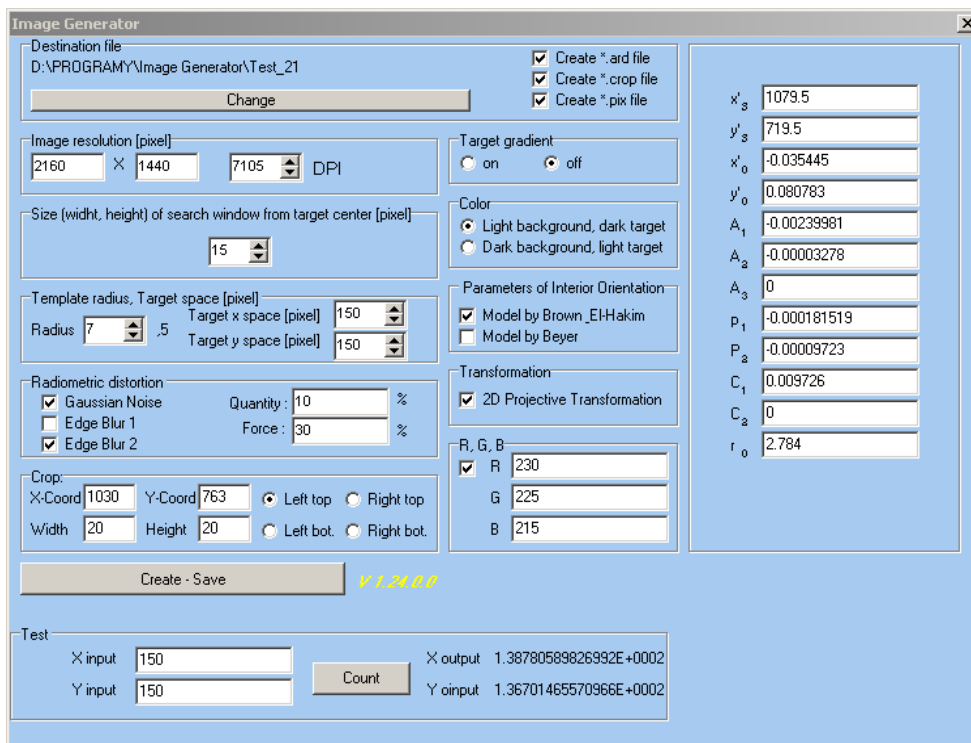
- parametry kalibracji orientacji wewnętrznej kamery cyfrowej,
- generowanie obrazu cyfrowego zdjęcia o dowolnej orientacji,
- obliczenie poziomów jasności I pikseli dla wybranego fragmentu obrazu,
- zdefiniowanie obszaru zainteresowań (*interest area*),
- obliczenie współrzędnych pikselowych wybranego punktu testowego,
- obliczenie współrzędnych pikselowych obrazu pierwotnego (bez dystorsji geometrycznych) oraz wtórnego (zniekształcony dystorsjami).

Modelowanie zniekształceń geometrycznych, typowych dla obrazów rejestrowanych niemetrycznymi cyfrowymi aparatami fotograficznymi, zrealizowano w aplikacji modelem eliminacji błędów systematycznych Brown'a (1971) i El-Hakim'a (1986) (równanie 2) oraz modelem Beyer'a (1992) (równanie 3) (Luhmann, 2003, 2006). Parametry z rzeczywistej kalibracji sensora cyfrowego, tj.: dystorsja radialna symetryczna, dystorsja radialna asymetryczna i tangencjalna, afinizm oraz nieortogonalność osi (*shear*) macierzy sensora, zostają wprowadzone w odpowiednie pola wyboru panelu interfejsu użytkownika (Rys. 4).

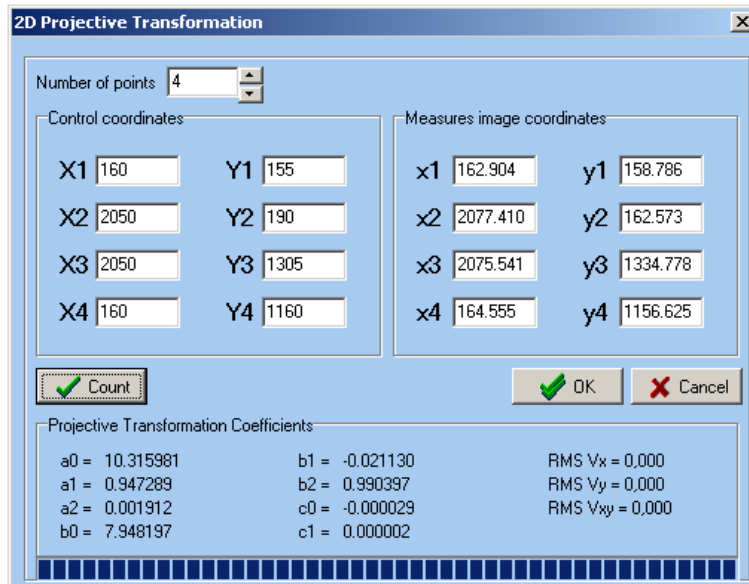
$$\begin{aligned} \Delta x' &= A_1 x'(r'^2 - r_0^2) + A_2 x'(r'^4 - r_0^4) + A_3 x'(r'^6 - r_0^6) + P_1(r'^2 + x'^2) + 2P_2 x' y' + C_1 x' + C_2 y' \\ \Delta y' &= A_1 y'(r'^2 - r_0^2) + A_2 y'(r'^4 - r_0^4) + A_3 y'(r'^6 - r_0^6) + 2P_1 x' y' + P_2(r'^2 + 2y'^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta x' &= \Delta x'_0 - \Delta c \frac{x'}{c} + K_1 x' r'^2 + K_2 x' r'^4 + K_3 x' r'^6 + P_1(r'^2 + x'^2) + 2P_2 x' y' - C_1 x' + C_2 y' \\ \Delta y' &= \Delta y'_0 - \Delta c \frac{y'}{c} + K_1 y' r'^2 + K_2 y' r'^4 + K_3 y' r'^6 + 2P_1 x' y' + P_2(r'^2 + 2y'^2) + C_2 x' \end{aligned} \quad (3)$$

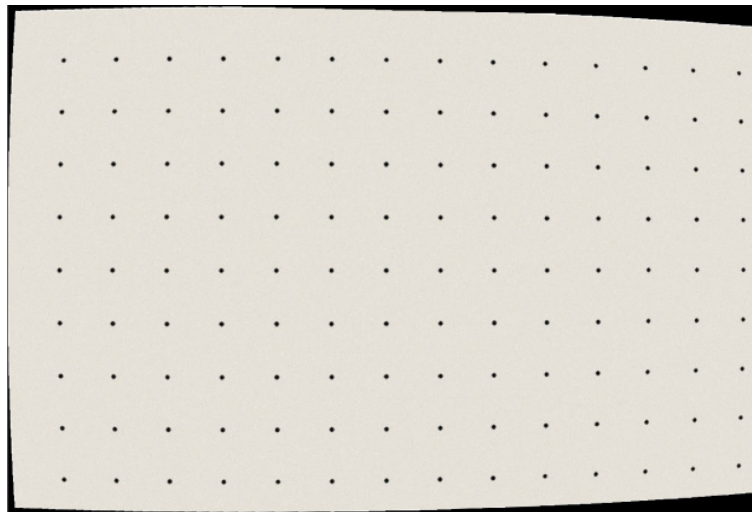
Zmienność skali, zniekształcenie perspektywiczne i zmianę cech radiometrycznych obrazu właściwą dla zdjęcia naziemnego o dowolnej orientacji (zdjęcie zwrócone i nachylone) uzyskano przez przekształcenie rzutowe 2D. Obraz cyfrowy pola testowego z punktami sygnalizowanymi obarczony dystorsjami przetwarzany jest do nowego układu współrzędnych pikselowych za pomocą transformacji rzutowej 2D (Luhmann, 2003), przy min. 4. punktach dostosowania, a następnie powtórnie próbkowany (*resampling*) metodą biliniowej interpolacji cyfrowej. Wyznaczenie w aplikacji współczynników transformacji 2D jest możliwe dla większej liczby punktów dostosowania, przez rozwiązanie nadokreślonego układu równań poprawek. Panel wyboru danych inicjalnych i obliczeń współczynników transformacji rzutowej 2D przedstawia rysunek 5, natomiast wygenerowany obraz ze zniekształceniami geometrycznymi, rysunek 6.



Rys. 4. Okno programu Image Generator z aktywnymi panelami wyboru dodatkowych opcji (definiowanie elementów orientacji wewnętrznej, transformacja rzutowa 2D, obliczenie teoretycznych współrzędnych punktu)



Rys. 5. Panel transformacji rzutowej 2D w aplikacji Image Generator



Rys. 6. Wygenerowany obraz zniekształcony wpływem dystorsji i kąta zwrotu zdjęcia ϕ

Stosowane w fotogrametrii cyfrowej operatory dopasowania wymagają standardowo dla obrazów barwnych transformacji wartości jasności pikseli do jednowymiarowej, monochromatycznej przestrzeni przedziału poziomów szarości $[0, 255]$. Jeżeli każda składowa R, G, B zapisana jest głębią 8 Bit, poziomy szarości I (wypadkowa wartość

jasności monochromatycznej) wyznaczone są z zależności (4), według rekomendacji – Standard Rec 601-1, stosowanego w grafice komputerowej:

$$I = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (4)$$

Aplikacja Image Generator umożliwia automatyczne tworzenie obszarów poszukiwań, które zapisywane są w pliku *.ARD (plik ten zapisuje zdefiniowane obszary poszukiwań jako plik wsadowy do programu Matching). Opcjonalnie, numeryczne wyniki przetworzenia obrazu cyfrowego zapisywane są w protokołach: *.CROP (Rys. 7), *_raport.TXT, *.PIX (Rys. 8).

162;154;25;25;25;25
163;154;68;68;68;68
164;154;127;127;127;127
165;154;185;185;185;185
166;154;200;200;200;200
167;154;200;200;200;200

Rys. 7. Fragment protokołu *.CROP, zawierający współrzędne pikselowe i poziomy jasności w kanałach *R, G, B, I*

97	100	115.8362384891	118.9328660389	78.1637615109	81.0671339611
98	100	116.7316635194	118.8780141769	79.2683364806	81.1219858231
99	100	117.6273910210	118.8232445587	80.3726089790	81.1767554413
100	100	118.5234204757	118.7685571061	81.4765795243	81.2314428939
101	100	119.4197513660	118.7139517409	82.5802486340	81.2860482591
102	100	120.3163831749	118.6594283853	83.6836168251	81.3405716147

Rys. 8. Fragment protokołu *.PIX z obliczonymi współrzędnymi pikselowymi punktów

Stworzona aplikacja Image Generator powstała jako narzędzie rozszerzające funkcjonalność wcześniej opracowanego programu Matching (Sawicki, Ostrowski, 2005) do pomiaru punktów na obrazach cyfrowych bliskiego zasięgu, w którym zaimplementowane zostały 4 operatory dopasowania:

- metoda wzajemnej korelacji obrazów CC (*Cross Correlation*),
- metoda środka ciężkości CG (*Center of Gravity*),
- metoda ważonego środka ciężkości CWM (*Center Weighted Method*),
- metoda dopasowania najmniejszych kwadratów LSM (*Least Squares Matching*).

3. TESTOWANIE PROGRAMU IMAGE GENERATOR

Do badań zastosowano wygenerowane w programie Image Generator 4 cyfrowe obrazy pola testowego zakłócone radiometrycznie szumem gaussowskim i rozmyciem krawędzi znaków. Każdy z utworzonych sztucznych obrazów zawierał 126 okrągłych, czarnych znaków na jasnym tle. Na 2. obrazach średnica znaków wynosiła 7 pikseli, natomiast na 2. kolejnych 15 pikseli. Dla każdej wielkości znaków 2 obrazy zostały dodatkowo zniekształcone wpływem dystorsji obiektywu i sensora cyfrowego (tabela 1). Wygenerowane obrazy posiadały parametry zdefiniowane w panelu programu Image Generator (Rys. 1, Rys. 4).

Sprawdzenie wygenerowanych bitmap przeprowadzono na podstawie porównania rzeczywistych współrzędnych środka znaków, które pomierzono automatycznie metodami dopasowania, ze współrzędnymi teoretycznymi, wyznaczonymi numerycznie.

Określenie w prosty sposób przekształcenia odwrotnego dla modelu błędów systematycznych Brown'a i El-Hakim'a (równanie 2) nie jest możliwe, dlatego do obliczenia

współrzędnych środka znaków na obrazach zniekształconych zastosowano iteracyjną metodę Newtona rozwiązania równań nieliniowych, implementując ją w specjalnie w tym celu opracowanej aplikacji.

Metoda Newtona bazuje na założeniu, iż funkcja f posiada pochodną f' i jest ona ciągła w dziedzinie funkcji. Dodatkowym założeniem jest znajomość pierwszego przybliżenia x_0 pierwiastka równania $f(x) = 0$. Podczas pierwszego kroku obliczeń wyznaczana jest wartość x_1 (równanie 5):

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (5)$$

i następnie w kolejnych krokach wartość x_{n+1} (równanie 6):

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (6)$$

Warunkiem zakończenia procesu iteracyjnego obliczeń jest osiągnięcie zadowalająco małego błędu $x_n - x_{n-1} \leq \varepsilon$. Założona dokładność wyliczenia zmiennych została oszacowana na poziomie 10^{-7} przy maksymalnie 300 iteracjach.

Automatyczny pomiar na obrazach testowych współrzędnych punktów sygnalizowanych wykonano autorskim programem Matching (wykorzystano metodę ważonego środka ciężkości CWM – *Center Weighted Method*) i metodę dopasowania najmniejszych kwadratów LSM – *Least Squares Matching*) oraz dodatkowo programem Pictran DE (metoda LSM), niemieckiej firmy technet GmbH. Na podstawie teoretycznie obliczonych i praktycznie pomierzonych współrzędnych pikselowych obrazów, wyznaczone zostały średnie kwadratowe wartości różnic współrzędnych RMS $\Delta x'y'$ dla wszystkich 4. wariantów pomiaru (tabela 1).

Tab.1. Średnie kwadratowe różnice współrzędnych pikselowych RMS $\Delta x'y'$ wyznaczone dla 4. wariantów pomiaru syntetycznych obrazów testowych

Program – metoda pomiaru	Obrazy bez dystorsji geometrycznej		Obrazy z dystorsjami geometrycznymi	
	Znak $\emptyset = 7$ pxl	Znak $\emptyset = 15$ pxl	Znak $\emptyset = 7$ pxl	Znak $\emptyset = 15$ pxl
	RMS $\Delta x'y'$ [pxl]	RMS $\Delta x'y'$ [pxl]	RMS $\Delta x'y'$ [pxl]	RMS $\Delta x'y'$ [pxl]
Matching – WCM	0.090	0.081	0.250	0.300
Matching – LSM	0.109	0.081	0.260	0.300
Pictran DE – LSM	0.026	0.015	0.232	0.206

W przypadku obrazów zakłóconych tylko radiometrycznie, bez zniekształceń dystorsjami geometrycznymi, wartości RMS $\Delta x'y' < 0.11$ piksela wynikają z wpływu szumów i dokładności zastosowanych metod dopasowania. Dla obrazów dodatkowo zniekształconych dystorsjami geometrycznymi, wartości różnic RMS $\Delta x'y'$ rzędu $0.2 \div 0.3$ piksela, w stosunku do współrzędnych teoretycznych, są spowodowane przede wszystkim zmianą kształtu mierzonych znaków względem wzorca (*template*).

Różnice RMS $\Delta x'y' < 0.1$ piksela pomiędzy wynikami automatycznego pomiaru punktów strukturalnych w programie Matching oraz Pictran DE są statystycznie istotne, ponieważ dokładność metody LSM szacowana jest na poziomie $0.005 \div 0.015$ piksela

(Luhmann, 2003). Różnice te mogą być spowodowane odmiennym sposobem definiowania środka wzorca. W programie Pictran DE środek wzorca wyznaczono manualnie, natomiast w aplikacji Matching procedura definicji wzorca odbywa się automatycznie. Poza tym, różnice $RMS\Delta x'y'$ mogą wynikać z innego sposobu wagowania składowych 3. kanałów R, G, B, w programie Pictran DE, który do przetwarzania obrazów cyfrowych wykorzystuje zewnętrzną bibliotekę *Imagegear*, lub z powodu różnic w algorytmach, zaimplementowanych w obu programach (Sawicki, Ostrowski, 2005).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że program Image Generator generuje w prawidłowy sposób syntetyczne obrazy cyfrowe. Dla obrazów zakłóconych radiometrycznie, ale pozbawionych zniekształceń geometrycznych, otrzymano wartości średniokwadratowych różnic współrzędnych pikselowych $RMS\Delta x'y' \leq 0.11$ piksela, natomiast dla obrazów dodatkowo zniekształconych wpływem dystorsji geometrycznych różnice wyniosły $RMS\Delta x'y' \leq 0.3$ piksela.

4. PODSUMOWANIE

Badanie podpikselowej dokładności i niezawodności operatorów dopasowania (*matching*), które są stosowane do pomiarów punktowych na obrazach bliskiego zasięgu, wymaga zastosowania syntetycznych obrazów cyfrowych pola testowego ze strukturalnymi sztucznymi punktami. W celu generowania obrazów syntetycznych napisany został w języku programowania Delphi 7 autorski program Image Generator, w którym można zdefiniować rozdzielczość obrazów, wielkość i poziom jasności pikseli, wielkości dystorsji geometrycznej oraz poziom zakłóceń radiometrycznych sygnału.

Weryfikację prawidłowości generowania zniekształconych wpływem dystorsji radiometrycznych i geometrycznych bitmap obrazów cyfrowych pola testowego przeprowadzono na podstawie porównania rzeczywistych współrzędnych środka znaków, pomierzonych metodami dopasowania za pomocą programów Matching i Pictran DE, ze współrzędnymi teoretycznymi, które wyznaczono numerycznie metodą Newtona. Średnia odchyłka kwadratowa RMS różnic współrzędnych pikselowych dla obrazów zniekształconych dystorsjami wyniosła $RMS\Delta x'y' \leq 0.3$ piksela.

Aplikacja Image Generator stanowi w obszarze fotogrametrii cyfrowej nowe informatyczne narzędzie badawcze, jest kompatybilne z funkcjonalnością programu Matching do automatycznego pomiaru punktów, oraz dodatkowo może być stosowana jako program dydaktyczny dla studentów.

5. LITERATURA

- Chen J., Clarke T. A., 1992. The Automatic Recognition, Location and Labelling of Targets in Digital Photogrammetric Engineering Measurement, ISPRS Washington, Com. V.
- Luhmann T., 1996. Results of the German Comparison Test for Digital Point Operators. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI Part B5/2 Com.V, s. 324–329.
- Luhmann T., 2003. *Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, Wichman Verlag, Heidelberg.
- Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., 2006. *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Application*, Dunbeath: Whittles Pub., corp.

Sawicki P., Ostrowski B., 2005. Badanie wybranych metod *matching'u* do pomiaru punktów na cyfrowych obrazach bliskiego zasięgu. *Roczniki Geomatyki PTIP*, T. III, Zeszyt 2, s. 135–144.

Schenk T., 1999. *Digital Photogrammetry*. TerraScience.

SYNTHETIC DIGITAL IMAGES WITH ARTIFICIAL TARGETS GENERATING

KEY WORDS: digital image, artificial targets, noise, blurs, image systematic errors, distortion, matching

SUMMARY: In order to generate synthetic digital close range images for testing the accuracy and reliability of the advanced matching operators especially dedicated application Image Generator was developed. Image Generator can generate circular dark targets on bright background and the other way bright targets on dark background. Generating test digital images (*.bmp) with artificial targets in Image Generator requires defining the following parameters: image resolution, pixel size, target radius, distance between targets, brightness of the target and its background, background noise, target edge blur, sharpness level, calibration parameters of digital camera and interest area.. Radiometric parameters of the image are being defined by R, G, B color components and additionally by Gaussian noise with any size and noise strength and two boxfilters (9 and 25 elements mask). Brightness change of targets requires gradient introduction. Geometric image distortions are being modeled by systematic errors by Brown's and El-Hakim's and Beyer's model which includes symmetric radial distortion, asymmetric and tangential radial distortion affinity and a shear of the sensor matrix. The free oriented images are processed with 2D projective transformation. The application additionally allows for creation of interest area for Matching software, image fragment (crop) generation, listing with pixel coordinates and brightness level. The Image Generator application was developed in Delphi 7 programming language. Tests of digital images with artificial targets of various sizes were conducted by automatic coordinates measurement in authors application Matching (CWM – center weighted method and LSM – least square method were applied), as well as in commercial software Pictran DE (LSM method). Measured pixel coordinates of targets centers were compared with theoretical coordinates, which were calculated using Newton method. Pixel coordinates discrepancies on radiometric and geometric distorted images amounted to $RMS \Delta x'y' \leq 0.3$.

Dr inż. Piotr Sawicki
e-mail: piotr.sawicki@geodezja.pl
tel.: +89 5233282

Mgr inż. Bartosz Ostrowski
e-mail: bartosz.ostrowski@p.lodz.pl
tel.: +42 6312617